

**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ****ОБРАЗАЦ 6.****НАЗИВ ФАКУЛТЕТА: ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА****ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ****-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена**

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>
<p>1. Датум и орган који је именовао комисију: 26.03.2014., Декан Факултета техничких наука, проф. др Раде Дорословачки</p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <p>1) др Драгана Бајић, председник комисије, редовни професор (датум избора: 15.06.2006.), у.н.о: Телекомуникације и обрада сигнала, Факултет техничких наука, Нови Сад</p> <p>2) др Чедомир Стефановић, члан комисије, research assistant professor (since: 01.01.2012.), у.н.о: Телекомуникације и обрада сигнала, Aalborg University, Denmark</p> <p>3) др Милош Стојаковић, члан комисије, ванредни професор (датум избора: 01.04.2011.), у.н.о: Теоријске основе информатике, Природно-математички факултет, Нови Сад</p> <p>4) др Војин Шенк, ментор, редовни професор (датум избора: 18.07.2003.), у.н.о: Телекомуникације и обрада сигнала, Факултет техничких наука, Нови Сад</p> <p>5) др Дејан Вукобратовић, ментор, ванредни професор (датум избора: 31.03.2014.), у.н.о: Телекомуникације и обрада сигнала, Факултет техничких наука, Нови Сад</p>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Младен Небојша Ковачевић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 24.02.1984., Сарајево, Босна и Херцеговина</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: Факултет техничких наука, Нови Сад, Енергетика, електроника и телекомуникације - телекомуникације, Дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства - мастер</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2007, Енергетика, електроника и телекомуникације</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Кандидат није похађао магистарске студије. Следе подаци о мастер тези: Факултет техничких наука, Нови Сад, Анализа комплексности секвенцијалног декодовања, Телекомуникације и обрада сигнала, 09.11.2007.</p> <p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: -</p>

### **III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Заштитни кодови у просторима скупова и мултискупова и њихове примене у пермутационим каналима

(Error-correcting codes in spaces of sets and multisets and their applications in permutation channels)

### **IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација садржи 142 стране, 7 поглавља (нумерисаних 0-6), 12 слика, 2 табеле, и 134 референце.

У поглављу 0 дат је преглед доприноса дисертације. Описана је проблематика којом се дисертација бави, мотивација за сваки од анализираних проблема, као и кратак опис резултата.

У поглављу 1 дефинисан је пермутациони канал - формалан модел комуникационог канала који настаје када приликом преноса информација долази до случајне промене редоследа симбола. Предложен је оквир за конструкцију и анализу заштитних кодова у оваквим каналима базиран на тзв. скуповним кодовима. Дати су примери таквих кодова и описане њихове особине.

У поглављу 2 су генерализовани резултати описани у поглављу 1 на тзв. мултискуповне кодове. Показано је да је ово најопштији оквир за анализу заштитних кодова у пермутационим каналима. Конструисана је фамилија мултискуповних кодова са значајно бољим перформансама у поређењу са кодовима који се тренутно користе у пракси. Анализирана је (не)егзистенција перфектних мултискуповних кодова.

У поглављу 3 је дефинисан Канал са ограниченим кашњењем у дискретном времену. Конструисана је фамилија оптималних кодова нулте грешке за овај канал, и описан алгоритам декодовања са линеарном комплексношћу. Израчунат је капацитет нулте грешке оваквих канала за све дозвољене параметре, као и неких блиско везаних канала који су описани редовима чекања.

Други део дисертације садржи резултате који се односе на особине ентропије и других мера информације, као и неке резултате из теорије вероватноће. У поглављу 4 анализирани су особине ових функција над доменима расподела вероватноће са задатим маргиналима, у случају коначног и пребројиво бесконачног алфабета. У првом реду, испитивана је њихова непрекидност и егзистенција екстрема.

У поглављу 5 анализирана је рачунска сложеност неких оптимизационих проблема теорије информација, попут минимизације ентропије. Показано је да су многи од тих проблема НП-тешки, и да заправо представљају информационо-теоретске реформулације познатих проблема теорије комплексности.

У поглављу 6 дефинисане су структуре независности случајних вектора и случајних процеса, по угледу на теорију матроида која на апстрактан начин описује појмове линеарне независности, алгебарске независности итд. Доказано је да такве структуре постоје за произвољне маргиналне расподеле.

### **V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Најважнији доприноси ове дисертације описани су у делу I (поглавља 1, 2, 3). У поглављима 1 и 2 је анализиран важан тип комуникационих канала који се појављује при преносу информација кроз пакетске мреже, при дистрибуираном складиштењу података, прикупљању података у бежичним сензорским мрежама, итд. Сви наведени сценарији, као и многи други који се могу описати сличним моделом, су од велике важности у модерним телекомуникацијама, и неопходно је развити одговарајућу теорију заштитног кодовања у овом контексту. Кодови који се тренутно користе у пракси у оваквим каналима су базирани на секвенцирању пакета, методу који у многим случајевима има врло лоше перформансе. Стога је, поред теоријског оквира, неопходно конструисати конкретне кодове и алгоритме декодовања који су практично употребљиви. Скуповни кодови, описани у поглављу 1, анализирани су у литератури у свега неколико референци; у овој дисертацији су они формално дефинисани, испитане су њихове особине, и описане предности над кодовима базираним на секвенцирању пакета. Мултискуповни кодови, описани у поглављу 2, нису раније проучавани у литератури и представљају оригиналан допринос аутора. Описан је целивит оквир и математичка структура неопходна за дефинисање и анализу кодова за пермутационе канале. Поред тога, конструисана је фамилија мултискуповних кодова са

веома добрим перформансама и веома једноставним алгоритмом декодовања. Постављена је оправдана хипотеза да су то најбољи кодови (за дате параметре), а формалан доказ ове чињенице ће бити предмет будућег истраживања. Такође, дата је потпуна класификација тзв. перфектних кодова у овом контексту.

У поглављу 3 анализиран је одређени модел "тајминг" канала, тј. канала који настају када је информација која се преноси садржана у времену слања поруке. Такви канали се у пракси појављују приликом преноса пакета кроз пакетске мреже са случајним кашњењима, нарочито при проласку пакета кроз мрежне рутере, затим у тзв. молекуларним комуникацијама, симултаном преносу информација и енергије, итд. У дисертацији је формално дефинисан модел канала који је релевантан у оваквим сценаријима и анализирани његове особине. Конкретно, конструисана је фамилија кодова нулте грешке за ове канале и показана њихова оптималност. Дат је такође алгоритам декодовања са врло ниском (линеарном) сложености. Као последица оптималности конструисаних кодова, израчунат је капацитет нулте грешке ових канала. Експлицитна конструкција оптималних кодова произвољне дужине са линеарним алгоритмом декодовања је, у извесном смислу, најбољи резултат који се у теорији кодовања може добити за дати комуникациони канал. Резултати су комплетни и релевантни како у теоријском, тако и у практичном смислу.

Други део дисертације садржи резултате који имају искључиво теоријски значај. Ови резултати представљају важан допринос теорији информација, али су само индиректно везани за предмет проучавања дисертације. Основни предмет проучавања у поглављима 4,5,6 јесу расподеле вероватноће са задатим маргиналима, које су у статистици познате и као табеле контингенције. Анализиране су особине фундаменталних информационо-теоретских величина - ентропије и релативне ентропије - над доменима оваквих расподела. Добијени резултати генерализују и допуњују познате резултате у литератури из ове области. Један од највећих доприноса описаних у другом делу дисертације је анализа сложености оптимизационих проблема теорије информација који се природно појављују у многим контекстима. Резултати имају неколико важних импликација и, између осталог, дају интересантну везу између теорије информација и теорије комплексности.

У поглављу 6 анализиран је концепт стохастичке независности, појам од фундаменталног значаја у статистици и теорији вероватноће. Дефинисане су формалне структуре независности скупова случајних променљивих, и доказана њихова егзистенција за произвољне маргиналне расподеле. Одговарајућа теорија која описује појмове линеарне независности, алгебарске независности, итд. је позната као теорија матроида и веома је дубоко проучавана у дискретној математици. Резултати овог поглавља дисертације описују одговарајућу теорију за концепт стохастичке независности, и у том смислу представљају важан допринос овој области.

## **VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ**

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

1. M. Kovačević, D. Vukobratović, "Perfect Codes in the discrete Simplex," *Designs, Codes and Cryptography*, accepted for publication, published online: November 2013, DOI: 10.1007/s10623-013-9893-5. (M22)
2. M. Kovačević, D. Vukobratović, "Subset Codes for Packet Networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 17, no. 4, pp. 729-732, April 2013. (M22)
3. M. Kovačević, I. Stanojević, V. Šenk, "Some properties of Renyi entropy over countably infinite alphabets," *Problems of Information Transmission*, vol. 49, no. 2, pp. 99-110, April 2013. (M23)
4. M. Kovačević, V. Šenk, "On Possible Dependence Structures of a Set of Random Variables," *Acta Mathematica Hungarica*, vol. 135, no. 3, pp. 286-296, May 2012. (M23)
5. M. Kovačević, I. Stanojević, V. Šenk, "On the Hardness of Entropy Minimization and Related Problems," in *Proc. IEEE Information Theory Workshop (ITW) 2012*, Lausanne, Switzerland, pp. 512-516. (M33)

<p><b>VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА</b></p>
<p>Основни резултат истраживања и допринос ове дисертације је формулација теорије кодовања у пермутационим каналима, као и конструкција конкретних кодова за такве канале и алгоритма њиховог декодовања. Показано је да конструисани кодови имају много боље перформансе од оних који се тренутно користе у пракси. У дисертацији је такође показано и да мултигрупни кодови, поред пермутационих канала, имају примене и у "тајминг" каналима. Конструисани су конкретни кодови и у том контексту, и показано је да су у одређеним сценаријима ови кодови оптимални. Резултати истраживања су значајни, како са теоријског, тако и са практичног аспекта. Како је у дисертацији и приказано, истраживање мотивисано пермутационим каналима је такође резултовало доприносима који нису директно везани за предмет проучавања, али представљају важне доприносе области.</p>
<p><b>VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА</b> Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.</p>
<p>У дисертацији су јасно и прецизно представљени проблеми проучавања и добијени резултати, као и значај ових резултата у ширем контексту теорије информација и теорије кодовања. Презентација је прегледна и концизна, са одговарајућим илустрацијама и примерима неопходним за лакше разумевање материје која је изложена. Веома је значајно и тумачење резултата у практичним контекстима који су били једна од иницијалних мотивација за ово истраживање. Приказана решења имају јасне теоријске и практичне доприносе који су потврђени и одговарајућим публикацијама. Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачење добијених резултата.</p>
<p><b>IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b> Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:</p>
<p>1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме Дисертација је у написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме. Резултати дају јасне и потпуне одговоре на проблеме који су били мотивација и предмет проучавања. Поред ових резултата, у дисертацији су дати и бројни резултати аутора који су индиректно везани за проблематику, а представљају важне доприносе области којој дисертација припада.</p>
<p>2. Да ли дисертација садржи све битне елементе Дисертација садржи све битне елементе захтеване Статутом Факултета техничких наука и Универзитета у Новом Саду, као и Законом о високом образовању.</p>
<p>3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци Основни допринос дисертације је теорија заштитног кодовања у пермутационим каналима. Конкретно, мултигрупни кодови нису раније проучавани у литератури и представљају у потпуности оригиналан допринос аутора. Такође, потпуна класификација перфектних кодова, која је овде добијена, није позната ни за један други комуникациони канал. Поред самог теоријског оквира, важан је и практичан допринос у погледу конкретних кодова који су конструисани, а који имају веома добре перформансе и једноставне алгоритме декодовања. Важан допринос дисертације је и анализа капацитета нулте грешке "тајминг" канала. У теорији информација, овај појам је раније анализиран само за класичне канале. Дефинисан је конкретан модел комуникационог канала који је релевантан у бројним практичним сценаријима и експлицитно су конструисани кодови нулте грешке произвољне дужине са алгоритмом декодовања линеарне сложености. Овакав резултат такође није познат ни за један комуникациони канал анализиран у литератури. Веза између теорије информација и теорије комплексности која је описана у дисертацији такође је оригиналан допринос и представља важан резултат за обе дисциплине.</p>

4.	Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања Комисија сматра да дисертација нема недостатака који би утицали на резултате истраживања. Резултати су комплетни, а циљ истраживања је у потпуности испуњен.
<b>X</b>	<b>ПРЕДЛОГ:</b>
	На основу укупне оцјене дисертације, комисија предлаже:
-	<b>да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана</b>

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ  
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

Проф. др Драгана Бајић

Др Чедомир Стефановић

Ванр. Проф. др Милош Стојаковић

Проф. др Војин Шенк

Ванр. Проф. др Дејан Вукобратовић

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.